

AUDITORIA ENERGÉTICA EN UNA INDUSTRIA LACTEA

Julio C. Doyharzabal *, Jorge Caminos, Sebastián Russillo
Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe.
Grupo de Estudios Sobre Energía - G.E.S.E.
Lavaise 610 - CP: S 3004 EWB - Santa Fe - ARGENTINA.
Tel.: +54 342 4697858 Fax.: +54 342 4690348 - <http://www.frsf.utn.edu.ar/>
* E-mail: jdoyharz@frsf.utn.edu.ar

RESUMEN: el presente trabajo busca disponer de herramientas técnico-económicas y procedimientos probados a través de experiencias concretas que permitan una eficiente disposición final de la energía en PyMEs - Pequeñas y Medianas Empresas - del rubro lácteo. La metodología adoptada para alcanzar este objetivo fue la de auditar un industria láctea, adoptada como unidad demostrativa, a los efectos de poder replicar las conclusiones arribadas a empresas del sector. Entre las principales observaciones se mencionan las pérdidas originadas por una incorrecta operación de la caldera y el banco de hielo, el desecho de condensados, la ausencia de corrección del factor de potencia y contratación de potencia inadecuada entre otras. Finalmente, se presentan los resultados del estudio expresados a través de medidas a implementar a los efectos de obtener estos y otros ahorros.

Palabras Clave: eficiencia energética, auditoria, industria láctea.

INTRODUCCIÓN

La importancia del presente estudio se basa en el uso eficiente de la energía como condición necesaria para la sustentabilidad energética y ambiental a largo plazo. En este contexto, la función del Estado en esta búsqueda debe ser compatible con las condiciones de desregulación y competencias derivadas del marco de la transformación económica Argentina y en particular del sector energético. El artículo busca disponer de herramientas técnico-económicas, material escrito y procedimientos probados a través de experiencias concretas realizadas durante 2001 en una empresa láctea de la región que permitan el uso eficiente de la energía. Finalmente, el establecimiento auditado se adopto como unidad de demostración del rubro, mientras que los costos y potenciales de ahorro económico se ajustan a las condiciones económicas vigentes al momento del estudio.

CUADRO RESUMEN

Mejora a implementar	Ahorro anual	Inversión	Amortización
Optimización del generador de vapor	\$ 3.324,65	-	-
Cierre de entrada secundaria de aire	\$ 4.679,13	-	-
Aislación de cañerías de vapor	\$ 3.201,51	\$ 3.274	12 meses
Recupero de condensados	\$ 1.379,11	\$ 3.500	30 meses
Implementación etapa de enfriamiento	\$ 628,00	-	-
Mejoras operativas en la instalación de frío	\$ 2.973,69	\$ 1.000	4 meses
Mejoras operativas en compresores	\$ 830,00	\$ 495	7 meses
Corrección del factor de potencia	\$ 534,38	-	-
Contratación de potencia	\$ 645,30	-	-

Los ahorros anuales esperados ascienden \$ 18.195,77; lo que representa un 32 % del consumo energético anual.

Datos generales de la empresa:

Rubro: lácteo.

Nº de operarios: 14 (administración, mantenimiento, producción).

Superficie cubierta: 937 m².

Procesamiento materia prima: 21.000 l leche promedio diario.

Producción diaria y semanal: 2.000 kg diarios de quesos de distintas variedad; 4.000 kg semanal de dulce de leche.

Períodos de trabajo: 8 h/d - 6 d/sem - 2.476 h/año.

Consumo de agua: 30.000 l diarios promedio para producción.

Consumos de energía eléctrica y combustibles: Según datos suministrados por la Empresa, los consumos energéticos anuales y específicos, Tabla 1, son:

- Consumo anual de energía eléctrica: 276.725 kWh.
- Consumo anual de combustible: 115,32 t Mezcla 70/30 + Aceite quemado.

Energía eléctrica	42,65 kWh/kl de leche
Combustible	17,78 kg de comb./kl de leche
Costo	8,75 \$/kl de leche

Tabla 1: Consumos específicos.

PROCESOS

Producción de quesos: Se utiliza leche pasteurizada, filtrada y acondicionada en materia grasa dependiendo el tipo de queso a obtener. Una vez en la tina quesera la leche sigue el método tradicional de elaboración de quesos en cuanto a adición de cultivos lácticos, adición del cuajo para su coagulación, cortado y formación de los granos. El vaciado de las tinas es por gravedad mientras que el desuerado se realiza utilizando mesas mecánicas acondicionadas a tal fin. El suero se deriva a un depósito para su posterior despacho como subproducto de consumo animal. Al final de esta mesa, se cortar en porciones para su moldeo y prensado según sean quesos de pasta blanda o dura. El salado se realiza de manera convencional, colocando las piezas en piletas con temperatura y concentración de sal controladas, mientras que la maduración se realiza en cámaras bajo condiciones de temperatura y humedad controladas variando su tiempo de estiba en función del tipo de queso.

Producción de dulce de leche: El proceso empleado por la Empresa para la elaboración de dulce sigue el método artesanal, partiendo de leche entera pasteurizada en la misma planta la cual se vierte en pailas para someterla a los procesos de hidrólisis, preparación, concentración, enfriamiento y homogenización del dulce dentro del mismo equipo. La paila para dulce es un recipiente con camisa de vapor a la cual se le suministra el fluido calefactor a una presión de 4 bar, mientras que para la etapa de enfriamiento se alimenta la chaqueta con agua fría de pozo. A continuación se fracciona y envasa el producto para su despacho.

SERVICIOS

Instalación de vapor: El sistema de generación de vapor cuenta con una caldera humotubular de 2 pasos, 70 m² de superficie de calefacción y un quemador de tipo de copa rotativa, trabajando en un rango de presión de 5 a 7,50 bar. La mayor parte de las cañerías de distribución de vapor no se encuentran aisladas.

El diagnóstico energético del generador de vapor se realizó calculando su rendimiento por medio del método indirecto, el cual consiste en restar las pérdidas energéticas existentes al total de la energía aportada. Como base para la determinación de las pérdidas se realizó el análisis de los gases de combustión, medición de temperaturas, recopilación de consumos y datos operativos del equipo. De esta forma se pudo determinar, sobre la base de sumar las pérdidas por inquemados y por calor sensible en los gases el rendimiento de la combustión el cual resultó ser del 71,63 %. Considerando además las pérdidas por convección y radiación, se obtuvo un rendimiento térmico del generador de vapor del 69,50 %, sin contemplar para el cálculo la pérdida por purgas ya que no se realizan dentro del período de trabajo.

Instalación de frío: La instalación de frío cuenta con dos compresores frigoríficos alternativos, uno provisto de un motor eléctrico de 9,19 kW y otro de mayor potencia con un motor de 18,40 kW. El sistema de condensación cuenta con un condensador del tipo casco y tubo y una torre de enfriamiento tipo mecánica con flujo de aire en contracorriente inducido que realiza simultáneamente el enfriamiento del agua de refrigeración de los cilindros de los compresores frigoríficos. Estos compresores atienden los dos consumidores primarios de frío, el banco de hielo de 3.500 kg de capacidad máxima y la cámara de depósito de quesos. Como consumidores secundarios se encuentran el pasteurizador y un fan-coil para mantenimiento de la temperatura en la sala de maduración de quesos, los cuales reciben agua helada del banco.

Actualmente el compresor de menor potencia se utiliza como compresor de base funcionando los días de semana, sábados y parte del domingo. En cambio, el compresor de mayor potencia se utiliza ocasionalmente durante la semana cuando es necesario recuperar el banco de hielo y los domingos durante gran parte del día para apoyar al banco de hielo en la tarea de enfriar la leche que se recibe durante todo el día. Debido a que por mal funcionamiento fuera retirado el sensor del banco de hielo que controla el arranque y parada del compresor, el suministro de frío no se realiza en forma independiente ya que el único control existente del compresor es el termostato de la cámara frigorífica. A su vez, en verano existen problemas para mantener en su valor óptimo la temperatura de condensación (308 °K) motivo por el cual se rocía agua sobre el casco del condensador.

Instalación eléctrica: La fábrica posee una alimentación trifásica aérea, a su vez cuenta con un grupo electrógeno Diesel de 120 kVA cuya función es prestar servicio en caso de interrupción del servicio público. La Figura 1 presenta el diagrama unifilar de la instalación.

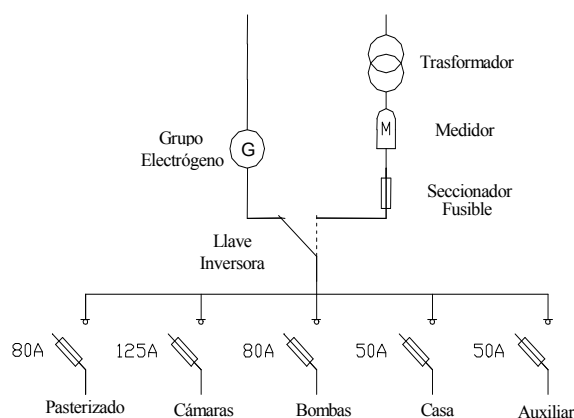


Figura 1 - Diagrama unifilar de la fábrica.

El tablero principal posee como primer componente una llave selectora de tipo manual de dos posiciones, Grupo electrógeno-Servicio público. Su salida alimenta un juego de barras trifásico del cual se derivan 5 seccionadores fusibles que parten a los distintos tableros seccionales.

En cuanto al consumo eléctrico, analizando la facturación anual ¹ se elaboró el Grafico 1 donde se muestra la participación del consumo en las distintas franjas horarias. El costo total de energía eléctrica en el año considerando impuestos es de \$ 28.367,62; con un costo promedio de 0,1025 \$/kWh.

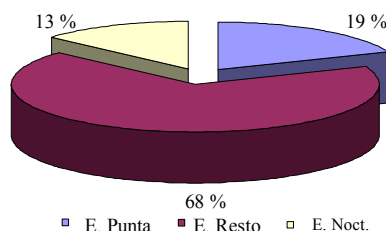


Gráfico 1 - Participación anual del consumo eléctrico.

Todas las mediciones eléctricas se realizaron con un equipo analizador, clase 0,5; de magnitudes eléctricas como tensión, corriente y potencias tanto en valores eficaces como instantáneos de las ondas en el punto de alimentación a la planta. El registro de estos valores se hizo en 2 períodos, el primero de 7 días completos y consecutivos registrando datos en períodos de 10 minutos, de acuerdo a Normas referidas a Calidad de Energía (Resolución ENRE 0099/1997). El segundo período consistió en un día de medición durante el cual se registraron valores del coseno ϕ . Su valor promedio fue de 0,81 alcanzando un mínimo de 0,60 y un máximo 0,90; mientras que el valor exigido por la Empresa proveedora del servicio eléctrico es de 0,85.

En este sentido también se estudio su variación a lo largo del año observando que durante los meses de diciembre a abril y de octubre a diciembre el costo energético se ve perjudicado debido a la no corrección del factor de potencia fijado por la proveedora del servicio eléctrico. El equipo de corrección no estaba en servicio.

Con relación a la iluminación, la mayor parte de la planta esta iluminada con tubos fluorescentes de 40 W de potencia, alcanzando los 1.305 W en toda la planta. Los parámetros con los cuales se compararon los valores de iluminación corresponden a los presentados en la Ley de Seguridad e Higiene en el Trabajo de Argentina. Asimismo, se verificó que el nivel promedio de iluminación a lo largo de toda la planta se encuentra 60% por debajo del nivel exigido por Ley.

Finalmente, clasificamos la instalación eléctrica como precaria dadas las características y antigüedad de los aparatos de maniobra y seguridad. Asimismo, se puede catalogar como insegura teniendo en cuenta la falta de interruptores diferenciales en los distintos tableros de la planta siendo estos de importancia para la seguridad del personal.

AHORROS EN PROCESOS E INSTALACIONES

Ahorro energético en el generador de vapor: de acuerdo a las mediciones realizadas, podemos lograr distintos ahorros energéticos en el generador de vapor lo que permitirá mejorar el rendimiento global del mismo. Básicamente, estas mejoras se centran en dos aspectos fundamentales:

¹ Datos suministrados por la Empresa.

- Ajuste del sistema de combustión (calibración y adecuación de temperatura del combustible).
- Limpieza de las superficies de intercambio de calor (interior y exterior de tubos).

Estas medidas permiten a su vez obtener directamente las siguientes mejoras:

- Disminuir la temperatura de gases, el exceso de aire y las pérdidas por inquemados.
- Ajustar emisión de CO.
- Ajustar emisión de partículas carbonosas.

De esta manera, conforme al tipo de caldera y combustible recalculamos las pérdidas en el generador de vapor con los parámetros mejorados estableciendo un nuevo rendimiento de la combustión el cual resulta del 80 % y por lo tanto el nuevo rendimiento total del 78 %. El ahorro energético posible resulta (1), el que traducido a consumo de combustible se muestra en Tabla 2:

$$Ahorro = \left(1 - \frac{69.5}{78}\right) \times 100 = 10.9 \% \quad (1)$$

Expresado en consumo de combustible	Ahorro en unidades monetarias
13,50 t/año	3.324,65 \$/año

Tabla 2: Ahorro económico por ajustes en el sistema de combustión y limpieza del generador de vapor.

Ahorro por cierre de entrada secundaria de aire: Actualmente el generador de vapor posee una entrada de aire secundaria la cual permanece abierta en periodos de no funcionamiento. Esto produce que el generador se enfríe entre jornadas debido al tiro continuo de la chimenea. Mediante el relevamiento realizado, se pudo constatar que al finalizar la jornada, el generador se encuentra con una presión de 6 bar mientras que al inicio de la jornada siguiente, el equipo arranca con una presión menor a un bar. De existir algún tipo de restricción a la circulación permanente de aire en los momentos de no funcionamiento, la presión interior no debería bajar mas de 2 bar entre jornadas de acuerdo a valores aportados por los fabricantes de equipos de la zona. De esta forma, se podría obtener un ahorro importante de energía en cada puesta en régimen del equipo al tener que realizar un menor aporte de energía para llevarla hasta las condiciones de operación, esto significa de acuerdo a lo estimado, un ahorro de energía de 475.750 kcal/día. Asumiendo que los días trabajados son 309 d/año y considerando el rendimiento mejorado del generador de vapor (78%), entonces el ahorro anual expresado como combustible será, ver Tabla 3:

Expresado en consumo de combustible	Ahorro en unidades monetarias
19 t/año	4.679,13 \$/año

Tabla 3: Ahorro económico por cierre de entrada secundaria de aire.

Ahorro por aislación de cañerías de vapor: Existe una importante cantidad de cañerías de distribución de vapor que en la actualidad no están aisladas térmicamente. De aislarse evitaríamos una pérdida de energía térmica del orden de las 40.400 kcal/h. Considerando las horas año de funcionamiento de la planta (2.476 h/año) y el rendimiento mejorado del generador de vapor (78 %). Este ahorro expresado en toneladas de combustible se indica en Tabla 4:

Expresado en consumo de combustible	Ahorro en unidades monetarias
13 t/año	3.201,51 \$/año

Tabla 4: Ahorro económico por aislamiento de cañerías.

La inversión necesaria para este ahorro es de aproximadamente \$ 3.274, incluido material y mano de obra.

Ahorro por recuperación del condensado en tinas queseras y pailas para dulce: Tal lo expresado anteriormente no se recupera el condensado de ningún equipo de la planta. En función de las características operativas de la instalación se pudo estimar una producción de 540 kg/h de vapor. Asumiendo que solo podemos recuperar el 50 % del condensado en un tanque de agua de alimentación ya que no todos los consumos son susceptibles de recuperación y en función de la temperatura registrada del mismo, 358 °K, se podría incrementar la temperatura del agua de alimentación a 305 °K siendo ésta mayor al valor actual (293 °K) y así producir el siguiente ahorro (2):

$$Ahorro = \frac{540 \text{ kg/h} \times (52 - 20) ^\circ\text{C}}{9880 \text{ kcal/kg} \times 0,78} = 2,24 \text{ kg/h combustible} \quad (2)$$

Considerando el consumo actual de combustible y las horas de trabajo anuales, el ahorro de combustible resulta como se expresa en Tabla 5:

Expresado en consumo de combustible	Ahorro en unidades monetarias
5,6 t/año	1.379,11 \$/año

Tabla 5: Ahorro por recupero de condensados.

La recuperación de condensados no solo tiene la ventaja de producir este ahorro en el consumo del generador sino también en el proceso de tratamiento del agua de alimentación debido a que solo deberá tratarse el agua de reposición.

La inversión necesaria para obtener el retorno de condensados es de aproximadamente \$ 3.500, incluido material (cañerías, aislante, accesorios, etc.), colocación del tanque de alimentación y mano de obra.

Ahorro por implementación de una etapa de enfriamiento con agua de pozo en el pasteurizador: En la actualidad, en el proceso de pasteurizado la leche luego de calentarse hasta 347 K, se enfría a unos 308 K intercambiando calor con la leche fría entrante. Luego, si esta se almacena entonces se enfría hasta los 281 K con agua helada del banco de hielo. Los fines de semana se enfrían un promedio de 20.000 l de leche para almacenar. Esta operación requiere remover de la leche 476.300 kcal (Q_{enf}). A todo esto, la capacidad máxima del banco de hielo es de unas 280.000 kcal (3.500 kg de hielo) con lo que, trabajando a plena capacidad, existe un déficit de 196.300 kcal (Q_{def}). Para cubrir este déficit se emplea el compresor de mayor potencia frigorífica (48.000 fr/h). De acuerdo a las mediciones este funciona aproximadamente unas 8 horas los domingos, con lo que la energía consumida para este fin alcanza los 175 kWh.

Agregando una etapa intermedia de enfriamiento en el intercambiador a placas alimentada con agua de pozo disponible a una temperatura de 293 K, la leche se puede enfriar hasta los 298 K con lo cual se quitarían 176.400 kcal ($Q_{enf. Int.}$), energía no proveniente del banco de hielo. El nuevo déficit a cubrir con el compresor entonces es de 20.000 kcal (Q_{def}). Para esto basta emplear el compresor de menor potencia frigorífica (≈ 30.000 fr/h) durante unos 45 minutos y un consumo de 14 kWh (incluido el consumo de la torre y el rendimiento eléctrico del motor). Para determinar el ahorro energético debemos considerar el consumo de una bomba centrífuga para mover el agua de pozo a razón de 4.500 l/h. Para una bomba de estas características la energía consumida incluido el rendimiento eléctrico del motor es de 2,5 kWh y el ahorro posible (3) de:

$$(175 - 14 - 2,5) kWh = 158,5 kWh \quad (3)$$

Teniendo en cuenta que la utilización del pasteurizador se realiza principalmente los fines de semana y que en invierno el tiempo de funcionamiento se reduce aproximadamente el 50 % con un costo estimado de 0,1025 \$/kWh, entonces el ahorro anual en unidades monetarias, Tabla 6, resulta:

Expresado en consumo eléctrico	Ahorro en unidades monetarias
158,50 kWh/año	628 \$/año

Tabla 6: Ahorro económico por enfriamiento con agua de pozo en el pasteurizador.

Ahorro por mejoras operativas en la instalación de frío: El sistema frigorífico no es capaz de suministrar frío de manera independiente a los consumos. Esto produce que el banco de hielo no reciba el frío necesario y de esta forma no se encuentre en condiciones cuando se lo solicita. Además, mediante mediciones realizadas se pudo comprobar que durante la madrugada el compresor se encuentra parado la mayor parte del tiempo obligando a que por la mañana el banco no se encuentre en óptimas condiciones.

Para un correcto funcionamiento del sistema se debe restituir el automatismo para que funcionando de forma independiente se puedan aprovechar las horas de la madrugada (de menor costo del kWh) para la provisión de frío al banco de hielo y así obtener un ahorro monetario. Si el banco de hielo es correctamente abastecido durante la noche, podría detenerse el compresor en el periodo comprendido entre las 18 y 23 h (horas pico consideradas por la distribuidora de energía) y de esta forma evitar consumir energía a un mayor costo y a su vez poder contratar una potencia menor. Esta nueva forma operativa nos permitiría bajar la potencia contratada en horarios de pico a solo 50 kW. de esta manera el ahorro económico anual que se obtendría será de \$ 2.973,69 y una inversión estimada consistente en colocar los sensores necesarios para restituir la automatización será de \$ 1.000.

Ahorro económico por mejoras en las condiciones operativas de los compresores frigoríficos: La temperatura de condensación en temporada de verano llega en ciertas condiciones a superar los 308 K (temperatura de condensación para diseño) alcanzando valores tales (313 K) obligando al personal de la empresa a utilizar medios auxiliares en el condensador para bajar esta temperatura. Asimismo se ha encontrado que la temperatura de evaporación se encuentra dentro de los 265 K, pudiendo elevarse a 268 K y cumplir con las necesidades de los consumidores de frío.

En estas condiciones la potencia frigorífica del compresor de menor potencia frigorífica, de acuerdo al catálogo del fabricante, ronda las 29.900 fr/h y demanda una potencia de 8,85 kW, mientras que para las condiciones óptimas de trabajo (268/308 K) la potencia frigorífica desarrollada resulta ser de 32.500 fr/h con una demanda de potencia de 8,2 kW.

Comparando la energía necesaria para la misma producción de frío, se puede esperar un ahorro energético en el consumo del compresor. De acuerdo a valores registrados se pudo determinar que el compresor pequeño funciona un promedio de 16 h/d. Teniendo en cuenta esto y considerando el costo promedio del kWh, el ahorro anual debido a estas mejoras resulta de \$ 830. Estas condiciones son posibles de mantener si se realizan las modificaciones referidas a la adecuación de capacidad, limpieza y calibración de toberas de la torre de enfriamiento, reposición y verificación de manómetros y sensores del compresor. Para lograr esta optimización se requiere una inversión de \$ 495.

Corrección del factor de potencia: De acuerdo a los valores registrados y la los obtenido de la facturación es necesario corregir el factor de potencia a los valores exigidos por la empresa distribuidora de energía ($\cos \phi = 0,85$). Para esto solo es necesario instalar el equipo corrector, ya que fue retirado para una reparación. Con la instalación del equipo corrector del factor de potencia el ahorro anula que se obtendría es de \$ 534,38.

Ahorro económico por una mejor contratación de potencia: Oportunamente fue expuesta la posibilidad de contratar una menor potencia en el horario de punta y se estimo el ahorro correspondiente. Si además realizamos las correcciones sugeridas, no sería necesario contratar tanta potencia en el horario fuera de punta, ya que por mediciones realizadas en la planta la mayor demanda de potencia fue de 65 kW, por lo que considerando las condiciones descriptas oportunamente y contratando solamente 65 kW obtendríamos un ahorro adicional de \$ 645,30.

CONCLUSIÓN

Como corolario del presente estudio encontramos que en general las pérdidas de energía en lo que refiere a los procesos productivos tienen su origen principalmente en el desecho de condensados, mientras que en lo que respecta a las instalaciones auxiliares y el uso de electricidad estas pérdidas tienen su causa en el mal manejo del generador de vapor, una inadecuada utilización del banco de hielo e instalación frigorífica, la ausencia de corrección del factor de potencia y una incorrecta contratación de potencia entre otros aspectos.

En este contexto y en carácter de sugerencia se proponen a modo de conclusión una serie de medidas a implementar a los efectos de obtener los beneficios oportunamente descriptos:

- Instalar un tanque para reponer agua y recuperar condensados. El tratamiento del agua será más eficiente.
- Reparar fugas de vapor.
- Controlar periódicamente el agua de alimentación y purgas.
- Puesta en marcha de la caldera en desuso y retiro de servicio del generador actualmente en funcionamiento.
- Cerrar la entrada secundaria del generador de vapor cuando este fuera de servicio.
- Controlar aquellos procesos en donde se utilice vapor para calefacción; suministrar solo el necesario.
- Utilizar mezcladores para el lavado de camiones e instalaciones y no inyectores.
- Controlar la temperatura de precalentamiento de combustible.
- Acondicionar el estado general del banco de hielo.
- Reponer manómetros de aspiración e impulsión en aquellos compresores donde estén fuera de servicio.
- Instalar en ambos compresores termómetros de aspiración e impulsión.
- Procurar estanqueidad en cámaras frigoríficas. Reparar sellos en puertas.
- Evitar mantener abierta innecesariamente las puertas en cámaras frigoríficas.

REFERENCIAS

- ASHRAE (1965). Guide and Data Book 1965, Fundamentals and Equipment. Editorial: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioned Engineers.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, I.A.D.E. (1987). Manual sobre Uso Eficiente de Energía en Calderas y Redes de Fluidos. Editorial: I.A.D.E..
- Zamaro, L. T. (1973). Técnica de las Instalaciones Frigoríficas Industriales, 2ª edición. Editorial: Melior.

ABSTRAC

The present paper looks for technician-economic tools and procedures given by experiences that allow an efficient final disposition of the energy in a small dairy enterprise. The methodology adopted to reach this objective was study a dairy industry, adopted as demonstration unit, to reply the conclusions arrived in others dairy enterprises. The main observations are the incorrect operation of boiler and the cooling system, the wasted condensate, the absence of the factor of power correction equipment and inadequate recruiting of power among others. Finally, a report bring a series of actions to obtain these and other savings.

Keywords: energy, efficiency, dairy industry.